FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

66

ANNÉE 1967 — THÈSE N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Jean-Pierre CHACUN

Né le 11 Août 1938, à Quimper (Finistère)

Présentée et soutenue publiquement le 196

Contribution à l'étude de l'effet de l'irradiation sur quatre vitamines du groupe B et la vitamine C

Président : M. KELLERSOHN, Professeur

PARIS — 1967

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544304_0018

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1967

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Jean-Pierre CHACUN

Né le 11 Août 1938, à Quimper (Finistère)

Présentée et soutenue publiquement le 196

Contribution à l'étude de l'effet de l'irradiation sur quatre vitamines du groupe B et la vitamine C

UNIV. LEIDEN BIBL.

Président : M. KELLERSOHN, Professeur

PARIS — 1967

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. Alajouanine (T.), Aubin (A.), Bénard (H.), Binet (L.), Bulliard (H.), Cathala (J.), Chabrol (E.), Chailley-Bert (P.), Debré (R.), Fey (B.), Galliard (H.), Gaudart d'Allaines (F. de), Gennes (L. de), Halphen (E.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Laroche (G.), Lavier (G.), Lelong (M.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Marchal (G.), Mathieu (P.), Monod (R.), Moreau (R.), Moulonguet (P.), Pasteur Vallery-Radot, Petit-Dutaillis (D.), Piédelièvre (R.), Quénu (J.), Renard (G.), Richet (C.), Senèque (J.), Strohl (A.), Tanon (L.), Verne (J.).

Doyen : Georges BROUET

1er assesseur : Daniel BARGETON — 2e assesseur : Jean GOSSET

I. — PROFESSEURS

1° CHAIRES DE SCIENCES FONDAMENTALES

a) Professeurs titulaires :

	MM.
Anatomie	Delmas (A.)
Anatomie et cytologie path.	Delarue (J.)
Anesthésiologie	Baumann (J.)
Bactériologie et virologie	Tournier (P.)
Biochimie médicale	Jayle (M.-F.)
	Polonovski (J.)
Biologie appl. à l'Education physique et aux Sports	Malmejac (J.)
Biologie médicale	Fauvert (R.)
Biophysique médicale	Bugnard (L.)
	Dognon (A.)
	Djourno (A.)
Cancérologie méd. et soc.	Denoix (P.)
Chimie pathologique	Schapira (G.)
Embryologie	Tuchmann (H.)
Génétique fondamentale	Lejeune (J.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie	Coury (Ch.)
Histologie	Giroud (A.)
Hygiène et méd. préven.	Boyer (J.)
Médecine du Travail	Desoille (H.)
Médecine légale	Derobert (L.)
Microbiologie (Bactériol. et virologie)	Fasquelle (R.)
Parasitologie	Brumpt (L.-C.)
Pathologie chirurgicale	Laurence (G.)
	Kuss (R.)
	Verne (J.-M.)
Pathologie exotique	N...
Pathol. expér. et comparée	Merklen (F.-P.)
Pathologie médicale	Laroche (Cl.)
	Bricaire (H.)
	Péquignot (H.)
Pathologie respiratoire	Turiaf (J.)
Pathol. et thérap. générales	N...
Pharmacologie	Cheymol (J.)
	Levy (Mlle J.)
Physiologie	Bargeton (D.)
	Parrot (J.)
Physiol. et pathol. obstét.	Lepage (F.)
Radiologie médicale	Desgrez (H.)
Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale	Cauchoix (J.)
Thérapeutique	Conte (M.)
Thérapeutique appliquée	Lamotte (M.)

b) Professeurs a titre personnel :

Anatomie anthropologique	Olivier (G.)
Anatomie pathologique	Nezeloff (Ch.)
Bactériologie	Barbier (P.)
Biochimie médicale	Desgrez (P.)
	Dreyfus (J.-Cl.)
Biologie médicale	Bourlière (F.)
Histologie	Coujard (R.)
Parasitologie	Larivière (M.)
Pathologie expérimentale	Loeper (J.)
	Richet (G.)
Physiologie	Dejours (P.)
	Scherrer (J.)
Physique médicale	Kellershohn (L.)
	Gougerot (L.)
	Roucayrol (J.-Cl.)
	Tubiana (M.)
Radiologie médicale	Fischgold (H.)

2° CHAIRES DE SCIENCES CLINIQUES

a) Professeurs titulaires :

	MM.
Cliniques :	
— carcinologique chirurg. (Necker)	Redon (H.)
— cardiol. (Broussais)	Soulié (P.)
— cardiol. (Boucicaut)	Lenègre (J.)
— chirurgicales : *Beaujon :* Lortat-Jacob (J.-L.) - *Beaujon :* N... - *Cochin :* Leger (L.) - *Hôtel-Dieu :* Patel (J.) - *Saint-Antoine :* Gosset (J.) - *Salpêtrière :* Sicard (A.) - *Tenon :* Olivier (Cl.)	
— chirurg. orthopéd. et traumatol. (Cochin)	Merle d'Aubigné (R.)
— chirurg. orthopéd. et traumatol. (Foch)	Padovani (P.)
— chirur. infant. et orthop. (Enfants-Malades)	Fèvre (M.)
— chirurgie cardio-vascul. (Broussais)	Dubost (Ch.)
— chirurg. pleuro-pulmon. (Laënnec)	Mathey (J.)
— dermatol. (Saint-Louis)	Duperrat (F.)
— endocrinologique (Pitié)	Decourt (J.)
— Génét. médic. (Enfants-Malades)	Lamy (M.)
— gynécologique (Broca)	Huguier (J.)
— maladies cutanées et syphilit. (Saint-Louis)	Degos (R.)
— maladies des enfants (Enfants-Malades)	Turpin (R.)
— maladies infectieuses (Claude-Bernard)	Mollaret (P.)
— maladies mentales et de l'encéphale (Ste-Anne)	Delay (J.)
— malad. métab. (Necker)	Hamburger (J.)
— maladies du sang (Broussais)	Bernard (J.)
— maladies du système nerveux (Salpêtrière)	Castaigne (P.)
— médicales : *Bicêtre :* Deparis (M.) - *Broussais :* Milliez (P.) - *Cochin :* Brouet (G.) - *Hôtel-Dieu :* Bariéty (M.) - *Lariboisière :* Sèze (S. de) *Pitié :* Dreyfus (G.) - *Saint-Antoine :* Kourilsky (R.) - *Saint-Antoine :* Boudin (G.).	
— d'hydrologie et de climatologie (Bichat)	Debray (Ch.)
— médecine infantile et pédiatrie sociale (Enfants-Malades)	Marie (J.)
Cliniques :	
— médicale propédeutique (Broussais)	Justin-Besançon (L.)
— médico-sociale du diabète sucré et des maladie de la nutrition (Hôtel-Dieu)	Derot (M.)
— neuro-chirurgie (Pitié)	David (M.)
— neurolog. (Salpêtrière)	Garcin (R.)
— obstétricales : *Baudelocque :* Lacomme (M.) - *Saint-Antoine :* Merger (R.).	
— obstétricale et gynécol. (Port-Royal)	Varangot (J.)
— ophtalmol. (Hôtel-Dieu)	Offret (G.)
— ophtalmolog. (Cochin)	Bregeat (P.)
— oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	Aubry (M.)
— pédiatrie	Mozziconacci (P.)
— pédiatrie et de puéricul. (Saint-Vincent-de-Paul)	Thieffry (S.)
— pneumo-phtisiologie (Laënnec)	Bernard (E.)
— neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)	Michaux (L.)
— rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	Coste (F.)
— stomato. (Salpêtrière)	Dechaume (M.)
— thérapeutique chirurg. (Vaugirard)	Roux (M.)
— thérapeutique médicale (Saint-Antoine)	Lemaire (A.)
— toxicologique	Gaultier (M.)
— traumat. et orthopédique (R.-Poincaré)	Judet (R.)
— urologique (Cochin)	Aboulker (P.)
— urologique (Necker)	Couvelaire (R.)
Hygiène et clinique de la 1re enfance (Trousseau)	Laplane (R.)
Séméiologie médicale (A. Chantin)	Domart (A.)
— (Lariboisière)	Bouvrain (Y.)
— (Pitié)	Rambert (P.)
— (Rothschild)	Wolfromm (R.)
Séméiologie et clinique chirurgicales (Broussais)	Poilleux (F.)

b) Professeurs a titre personnel :

Hématologie	André (R.)
	Bousser (J.)
Hydrologie et climatologie	Giberton (A.)
Maladies infectieuses	Bastin (R.)
Médecine : Azerad (E.); Bour (H.); Grossiord (A.); Lambling (A.); Launay (Cl.); Payet (M.); Perrault (M.); Siguier (F.); Worms (R.).	
Neuro-chirurgie	Le Beau (J.)
Neurologie	Lhermitte (F.)
Neuro-psychiatrie	Pichot (P.)
Oto-Rhino-Laryngologie	Maduro (R.)
Pédiatrie	Polonovski (Cl.)
	Royer (P.)
Pneumo-Phtisiologie	Kreis (B.)
	Meyer (A.)
Rhumatologie	Delbarre (F.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE

Anatomie	CABROL (Ch.)
Anatomie pathologique	GOUYGOU (Ch.)
Anesthésiologie	VOURC'H (G.)
Bactériologie	CHRISTOL (D.)
Biochimie médicale	CARTIER (P.)
	GONNARD (P.)
Biologie médicale	HARTMANN (L.)
Hématologie	BILSKI-PASQUIER (G.)
Maladies infectieuses	DUPONT (V.)
Physique médicale	COURSAGET (J.)
	GREMY (F.)
Physiologie	GIRARD (Fr.)
Stomatologie	CHAPUT (Mme A.)
Thérapeutique	CHASSAGNE (P.)

III. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie : M. HAUDUROY (P.), *pr. s. ch.*

Pathologie chirurgicale : RUDLER (J.), *pr. s. ch.*

IV. — PROFESSEUR ASSOCIÉ

Statistique médicale et épidémiologique .. .. SCHWARTZ (D.)

Secrétaire général de la Faculté : M. LENA (J.).
Conseillers administratifs : Mlle CHAINTREUIL (G.), M. FAYE (R.).
Conservateur en Chef de la Bibliothèque, Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine : M. le Docteur HAHN (A.).

Conservateurs : Mlles DUMAITRE (P.), LAURENT (H.), LE NOIR (G.).
Bibliothécaires : Mmes CONTET (J.), FORGET (F.), Mlles DUROZOY (M.-F.), ROBERGE (D.), Docteur SCHILLER (J.).

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

TRAVAIL DU CENTRE DE RECHERCHES FOCH

4, avenue de l'Observatoire

PARIS 5è

Directeur : H. GOUNELLE

A MONSIEUR LE PROFESSEUR KELLERSHOHN

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris

(Physique)

Qui nous a fait l'honneur
d'accepter la présidence de
cette thèse.

En hommage respectueux.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR Hugues GOUNELLE

Officier de la Légion d'Honneur

Professeur Agrégé du Val de Grâce

Directeur du Centre de Recherches Foch

Membre de l'Académie Nationale de Médecine

En témoignage de profonde

reconnaissance et d'admiration.

A MADEMOISELLE C. MARNAY

Maître de Recherches au C.N.R.S.

Qui a supervisé les recherches
effectuées dans notre expérimentation.

A MONSIEUR DUPUY

Maître de Recherches à l'I.N.R.A.

Qui a permis ce travail en mettant à
notre disposition l'irradiateur au
Cobalt 60 de la Station de Technologie
Végétale de la "Sablière" à Versailles.

I N T R O D U C T I O N

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

L'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, et le problème de la sous-alimentation dans le monde prennent chaque jour une importance grandissante.

Malgré une certaine suspicion vis-à-vis de l'utilisation de l'irradiation dans le domaine alimentaire, les recherches se poursuivent depuis plus de dix ans. En effet, ce nouveau procédé de conservation peut faciliter la résolution des problèmes dus, d'une part, à une démographie croissante, d'autre part, à la production alimentaire largement excédentaire des pays occidentaux.

De premiers résultats ont montré l'intérêt considérable que peut représenter l'irradiation dans l'alimentation sous les aspects les plus divers : le "décharançonnage" des farines lors de leur stockage ou le déparasitage des viandes "trichinées" ou l'arrêt de la germination des pommes de terre, ou, sur un plan plus général, la stérilisation des aliments par destruction des micro-organismes.

Sur le plan scientifique et social, l'intérêt de cette étude est donc indéniable. D'un point de vue économique, l'aspect compétitif de son utilisation industrielle n'est pas encore bien déterminé, étant donné surtout que les procédés de conservation utilisés jusqu'à ce jour donnent toute satisfaction. Il semble que les problèmes de structure inhérents à cette installation dépendent avant tout des réponses données à deux objections et de l'attitude du public qui en découlerait.

L'aliment irradié est-il identique à l'aliment naturel ?

Il semble que pour certains aliments et pour des doses souvent supérieures aux doses pratiques, il puisse apparaître des modifications de l'aliment, de type changement de viscosité, du goût et de l'odeur. Par contre, son pouvoir nutritionnel est très comparable à celui existant après les procédés classiques de conservation, les vitamines en particulier, sont détruites dans des rapports comparables à leur destruction par Appertisation (5).

L'aliment irradié est-il parfaitement inoffensif ? Existe-t-il un pouvoir toxique à court terme et à long terme ?

Des études de toxicité (5) ont été pratiquées sur des rats, puis sur des mammifères plus évolués (chiens, singes). Des prisonniers de droit commun se sont portés volontaires pour utiliser des rations alimentaires à pourcentage important d'aliments irradiés; toutes ces expériences n'ont jamais démontré jusqu'à ce jour, une toxicité de l'alimentation irradiée (42).

Peut-il exister une radio-activité induite ?

Aux énergies pratiquement utilisées, c'est-à-dire, inférieures à 10 Mev, celle-ci ne peut exister.

Toutes ces objections semblent actuellement résolues, du moins en grande partie; d'ailleurs dès 1958 le gouvernement soviétique autorisait la conservation par irradiation des pommes de terre, puis le Canada en 1961, enfin aux U.S.A. la "Food and Drug Administration" permettait en 1963 l'irradiation des pommes de terre, de la farine et du bacon.

La plupart des études sur la teneur vitaminique des aliments irradiés ont été faites à des doses dépassant largement le Mégarad. Il nous a paru intéressant d'apporter notre contribution à une étude des vitamines B1, B2, PP, B6 et C dans divers produits naturels : levure, crème de riz, pommes de terre et carottes soumis à des doses d'irradiation plus modérées.

Notre étude rappellera tout d'abord les notions devenues classiques sur l'alimentation irradiée, s'efforcera de présenter un bilan des travaux ayant concerné ces vitamines, et apportera les résultats de l'expérimentation que nous avons conduite.

*
* *

INTRODUCTION

Ière PARTIE : Généralités

Action des radiations ionisantes (R.I.) sur les aliments.

I - Principe

II - Technologie et rappel de quelques notions fondamentales sur les radiations ionisantes. Unités.

III - Mécanisme d'action des R.I.

A) Phénomènes physico-chimiques élémentaires.

1) Ionisation.

2) Excitation.

B) Mode d'action élémentaire.

1) Effet direct.

2) Effet indirect.

a) Action des R.I. sur l'eau

b) Action des R.I. sur les solutions aqueuses.

IV - Quelques exemples prometteurs d'utilisation de l'irradiation en alimentation.

V - Devenir des différents constituants élémentaires après l'irradiation.

VI - Examen des effets indésirables.

VII - Examen des modifications de la radio-sensibilité selon les conditions de l'expérience.

IIème PARTIE :

Bilan des études faites à ce jour sur les effets de l'irradiation sur les vitamines hydrosolubles du groupe B, B1, B2, B6 et PP et sur la vitamine C.

IIIème PARTIE : Expérimentation

Irradiation d'aliments contenant les vitamines B1, B2, B6 et PP et la vitamine C.

Résultats obtenus.

I - Technique de l'irradiation

II - Principes de dosage

III - Résultats

1) Les levures.

2) La crème de riz.

3) La pomme de terre.

4) La carotte.

CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE.

*

* *

I è r e P A R T I E

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

G E N E R A L I T E S

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

ACTION DES RADIATIONS IONISANTES SUR LES ALIMENTS

I - PRINCIPE

L'action des radiations ionisantes sur les aliments est très diverse selon l'effet recherché et selon la dose; sachant que les cellules, dont le renouvellement est le plus rapide, sont les plus sensibles à l'irradiation, on pourra par exemple supprimer toute nouvelle germination d'une plante ou toute nouvelle reproduction d'un helminthe. En augmentant la dose, on détruira successivement les insectes, les bactéries, les virus, les enzymes ...

On recherche une dose léthale sur les différents organismes, mais pratiquement on n'envisage toujours qu'un certain degré d'inactivation qui conduit à des prolongations de conservation sans atteindre la stérilisation complète (4).

II - Technologie et rappel de quelques notions fondamentales sur les radiations ionisantes. Unités (2) (1) (5).

A cause du danger de radio-activité induite, seules certaines formes de rayonnement telles que les rayons gamma, les rayons X et les électrons peuvent être employées pour l'irra-

diation alimentaire. Les effets des trois types de rayonnement sont les mêmes mais pratiquement on utilise essentiellement le rayonnement gamma produit par divers radio-isotopes.

Le radio-élément le plus utilisé est le cobalt 60 dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Période : 5,2 années

- Sa désintégration β s'accompagne de l'émission de photons d'énergie d'1,17 MeV (1 MeV = 10^6 eV) et 1,33 MeV.

Rappelons que l'énergie rayonnée par les sources radioactives est exprimée en électron-volt (eV).

- 1 électron-volt c'est la quantité d'énergie cinétique acquise par un électron soumis à une différence de potentiel de 1 volt.

1 eV = 1,6 . 10^{-12} ergs = 4,45 . 10^{-26} KWH

Pratiquement on utilisera surtout le kilo-électron-volt et le méga-électron volt. (1 MeV = 10^6 eV ; 1 KeV = 10^3 eV)

Le Roentgen caractérise le rayonnement par son pouvoir ionisant dans l'air; c'est l'unité d'exposition telle que l'émission corpusculaire associée, par 0,001293 g d'air, produise des ions transportant une unité électro-statique d'électricité de chaque signe.

1 r correspond à 0,93 rad.

1 rad correspond à 1,07 r.

Mais la matière soumise à un rayonnement gamma absorbe une certaine quantité d'énergie qui seule nous importe en biologie, elle s'exprime en rads : dose absorbée qui correspond à une énergie de 100 ergs par gramme de matière irradiée.

On utilise également le Rep (équivalent physique du roentgen) qui correspond à l'absorption de 83 ergs par gramme de tissu.

Enfin, il a fallu préciser la dose biologique efficace.

"Le degré d'un certain effet des R.I. dépend au premier chef de l'énergie absorbée par gramme de milieu irradié, mais à doses d'absorption égales il dépend aussi du plus ou moins grand espacement des ionisations le long de la trajectoire de la particule qui les produit." C'est à dire du TEL ou transfert d'énergie linéaire qui exprime la distribution spatiale de l'énergie le long d'une trajectoire.

On a essayé expérimentalement d'évaluer un coefficient d'efficacité biologique relative ou EBR.

Dose biologiquement efficace = dose d'absorption (rad) XEBR

L'EBR augmente <u>en général</u> avec le TEL notamment dans le cas des cellules de mammifères.

EBR : pour rayonnements β , γ , rayons X	=	1
pour neutrons thermiques	=	5
pour neutrons rapides, protons	=	10
pour rayonnement α	=	20

Mais en toute rigueur, il faudrait un EBR <u>par effet</u> étant donné qu'il pourrait suffire d'une <u>seule</u> ionisation pour obtenir l'effet.

III - Mécanisme d'action des radiations ionisantes (2).

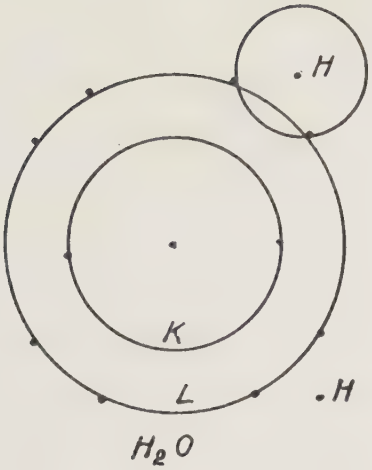
La disproportion entre les énergies mises en jeu et les conséquences biologiques, montre d'emblée la complexité des phénomènes. La quantité d'énergie délivrée à une cellule au cours d'une irradiation mortelle est égale à celle qui est normalement utilisée dans les processus métaboliques en quelques secondes (GRAY).

A - Phénomènes physico-chimiques élémentaires

"Tout atome, qu'il soit libre ou fasse partie d'un édifice moléculaire, est susceptible d'être excité si un ou plusieurs de ces électrons périphériques passent sur des couches plus lointaines, ou ionisé si un ou plusieurs électrons sont éjectés hors de l'atome". C'est l'action des radiations ionisantes.

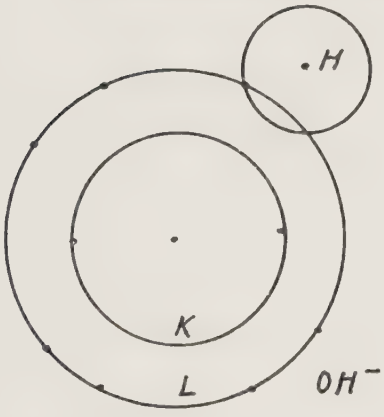
I - Ionisation

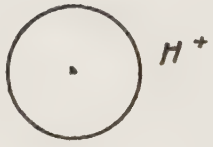
Une ionisation provoquée par ces rayonnements aboutit à la formation de deux ions : l'un positif constitué par la molécule ayant perdu l'électron, l'autre négatif formé par l'électron éjecté. Contrairement à ce qui se passe lors de la dissociation ionique d'un sel où les couches périphériques sont complètes, lors de l'ionisation, la molécule a perdu un électron, le nombre d'électrons de l'ion positif est donc impair et celui-ci présente toujours un électron non apparié, "Célibataire"; ce qui explique la haute réactivité chimique de cet ion positif. Un tel ion est essentiellement instable, il tend à apparier son électron célibataire, en capturant un autre électron ou en entrant



en réaction chimique avec un autre radical libre pour mettre en commun leurs deux électrons célibataires et former une liaison chimique; à partir du moment où le nombre d'électrons redevient pair, il en résulte une certaine stabilité chimique.

Une molécule d'eau H2O se décompose en deux ions OH^- et H^+

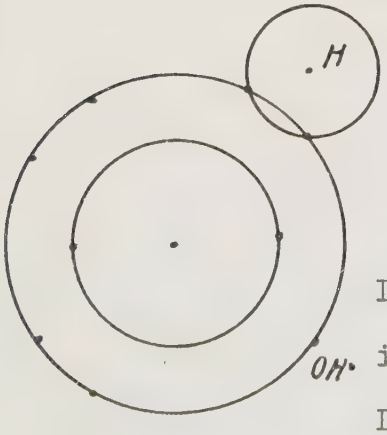


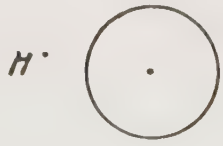


L'ion OH^- a une couche électronique périphérique saturée

l'ion H^+ ne possède aucun électron sur sa couche périphérique

Ces deux ions sont stables





La décomposition de H2O par les radiations ionisantes donne le radical OH· et l'atome H·.

Dans les deux radicaux la couche périphérique possède un nombre impair d'électrons : l'une des cases quanti-

ques n'a qu'un électron, il en résulte une très grande réactivité chimique.

De la même façon, l'ion $H2O^+$ qui serait formé après ionisation d'une molécule d'eau et perte d'un électron est un ion radical ayant un nombre impair d'électrons sur sa couche périphérique (une case quantique étant incomplète), il a une très haute instabilité.

Quelques exemples de diverses éventualités :

a) - Dissociation spontanée :

l'ion radical libre instable peut se décomposer :

par exemple C4 H10 ionisé peut donner :

$$C4H^+10 \longrightarrow C3H5^+ + H2 + CH'3$$

CH'3 non saturé a une très grande radioactivité.

Un cas important est celui de la dissociation d'une molécule organique R.H.

$RH \longrightarrow RH^+ + e^-$ et ultérieurement RH^+ se dissocie en $R^\bullet$ et H^+

Dans le radical $R^\bullet$, l'atome possédant l'électron non apparié est un carbone.

b) - Transfert de charge :

la molécule ionisée peut emprunter un électron à une molécule ayant un potentiel d'ionisation inférieur au sien après avoir formé avec cette molécule un complexe :

$$A^+ + B \longrightarrow (A^+ . B) \longrightarrow A + B^+$$

c)-Réaction avec un ion négatif

L'ion positif peut capturer un électron ou réagir avec un ion négatif. Dans les deux cas, la quantité d'énergie dégagée lors de la neutralisation des charges est généralement suffisante pour provoquer la dissociation immédiate.

Il se forme alors deux radicaux libres non chargés, dont l'un est excité et qui sont à leur tour susceptible de réagir.

$$C4\ H8 \longrightarrow C4\ H8^{+} + e^{-} \quad \text{et} \quad C4\ H8^{+} + e^{-} \text{ donne } C4\ H7 + H^{\bullet}$$

d)-Réaction avec une molécule neutre

L'ion positif peut réagir avec une molécule neutre :

par exemple :

$$CO^{+} + CO \longrightarrow C^{+} + CO\ 2$$

Si la molécule ionisée est une grosse molécule organique, sa réaction avec une molécule neutre (eau, oxygène) peut entraîner une altération irréversible.

Quant à l'électron libre, il peut se faire capturer par une molécule qui, ainsi transformée en un ion négatif, est susceptible à son tour de se dissocier ou d'entrer en réaction.

L'ensemble de ces faits montre qu'on ne peut pas considérer que le nombre des molécules ionisées est égal au nombre des molécules décomposées. Il y a plusieurs étapes intermédiaires entre l'ionisation et la décomposition dans lesquelles peuvent intervenir des facteurs extérieurs aux molécules ionisées.

II - Excitation

La majeure partie de l'énergie d'excitation se transforme en énergie cinétique, c'est à dire, en chaleur. Dans d'autres cas, l'excitation est à l'origine de réactions chimiques dans lesquelles l'énergie est partiellement ou totalement utilisée.

B - Mode d'action élémentaire

Une lésion cellulaire peut être déterminée par deux mécanismes :

- Une action directe de la particule ionisante sur une molécule, un groupe de molécules ou une structure intra-cellulaire de faible dimension.

- Une action indirecte liée aux phénomènes chimiques ou physiques.

I - Effet direct

On appelle ainsi les transformations subies par les molécules constitutrices des tissus du fait des ionisations ou des excitations provoquées par le rayonnement dans ces molécules elles-mêmes.

II - Effet indirect

Les molécules ionisées ou excitées, peuvent donner naissance à des radicaux ou à des ions ; ceux-ci sont capables de réagir chimiquement avec les molécules du milieu et de déterminer des modifications.

Le solvant lors de la radio-décomposition, peut avoir une grande réactivité chimique.

a) Action des R.I. sur l'eau (Théorie de LEA-GRAY-PLATZMAN)

Le phénomène initial est l'ionisation de l'eau qui nécessite 13 eV.

$$H2O \longrightarrow H2O^{+} + e^{-}$$

$H2O^{+}$ se décompose : $H2O^{+} \longrightarrow H^{+} + OH'$

OH' est un agent d'oxydation puissant.

Il y aurait également formation du radical libre H'

$$H2O + e^{-} \longrightarrow H2O^{-} \longrightarrow H' + OH^{-}$$

Ces radicaux peuvent réagir entre eux :

$$OH' + OH' \longrightarrow H2\,O2$$

$$H' + H' \longrightarrow H2$$

Ces réactions se font avec une fréquence d'autant plus grande que le T E L est plus élevé.

On a donc autour de la trajectoire de la particule :

H' , OH' , H2O2 , H2

- En l'absence de l'oxygène

S'il s'agit d'une radiation de densité d'ionisation supérieure à 200 ions/microns, (particules α par exemple) les quantités d'hydrogène et d'eau oxygénée formées sont mesurables.

S'il s'agit d'une radiation à densité d'ionisation faible (rayons X ou γ) on ne peut pas mettre ces produits en évidence.

- En présence d'oxygène on a :

$$H' + O_2 \longrightarrow HO'_2 \text{ ainsi que}$$

$$O_2 + e^- \longrightarrow O^-_2 \text{ et } O^-_2 + H_2O \longrightarrow HO'_2 + OH^-$$

on peut avoir :

$$HO'_2 + HO'_2 \longrightarrow H_2O_2 + O_2$$

$$\text{et } HO'_2 + H^+ \longrightarrow H_2O_2$$

b) Effet sur les solutions aqueuses

On a constaté les propriétés oxydantes de "l'eau irradiée"; le rendement des réactions est très variable car des réactions en chaine peuvent l'augmenter considérablement.

Quelques exemples :

- soit une molécule quelconque R H

$$RH + OH' \longrightarrow R' + H_2O$$

$$RH + H' \longrightarrow R' + H_2$$

$$\text{ou } RH + HO^{\bullet}_2 \longrightarrow RO' + H_2O$$

$$\text{ou } RH + HO'_2 \longrightarrow R' + H_2O_2$$

et on pourra avoir :

$$R' + R' \longrightarrow R - R \text{ donc à l'origine de polymérisation.}$$

en présence d'oxygène $R' + O_2 \longrightarrow ROO'$

$$ROO' \text{ et } + RH \longrightarrow ROOH + R' \text{ etc...}$$

- Avec un groupement sulfhydrique S H qui joue un rôle enzymatique important $2RSH + 2OH' \longrightarrow RS - SR + 2H2O$

ou $2RSH + 2HO'2 \longrightarrow RS - SR + 2H2O2$

ainsi l'irradiation provoque l'apparition de corps doués d'une activité chimique importante capable de provoquer principalement des oxydations, mais qui peuvent déterminer aussi des hydroxylations, des désaminations, des réductions, des ruptures de chaines carbonées ou inversement des polymérisations.

IV - Quelques exemples prometteurs d'utilisation de l'irradiation en alimentation. (69) (70)

Traitement des pommes de terre ou oignons en vue du blocage de la germination au cours du stockage.

environ 10.000 rads.

Traitement des graines en vue de leur déparasitage.

50.000 rads pour obtenir la mort des parasites.

15.000 rads pour obtenir la stérilisation.

Stade expérimental.

Traitement des fruits frais ou des légumes mous en vue de leur stabilisation à court terme pour faciliter le transport avant la vente.

150.000 à 300.000 rads

Stade expérimental.

Traitement des produits alimentaires conditionnés en vue de leur stabilisation sous la forme de semi-conserve, en association avec

un autre mode de stabilisation (chaleur modérée, froid, sel...)

Radio-pasteurisation.

300.000 rads + chaleur (60° C par exemple pour le jambon)

Traitement des produits alimentaires conditionnés en vue de leur stabilisation sous forme de conserves (radio-stérilisation).

4.500.000 rads à 5 millions de rads

Seules ces doses sont susceptibles de détruire Clostridium Botulinum, mais par contre, elles font naître dans les conserves une saveur anormale souvent considérée comme intolérable.

A propos de radio-pasteurisation, il faut remarquer que les organismes éliminés ne sont pas obligatoirement les mêmes que ceux qui sont éliminés par la pasteurisation par la chaleur; cette technique n'exclut pas que la température de stockage doit être assez basse pour empêcher le développement sur les éléments irradiés de tous les organismes pathogènes, notamment ceux dont les spores survivent à l'irradiation; le Cl. Botulinum type E est capable de pousser à 5° C et peut être même à une température inférieure.

L'irradiation a une action bactéricide mais son action sur la durée de conservation de l'aliment est limitée par les modifications chimiques enzymatiques (autolyse) dont certaines sont influencées par l'irradiation (rancissement par oxydation). On aurait alors intérêt à associer d'autres procédés comme la réfrigération, le salage, le fumage etc...

V - Devenir des différents constituants alimentaires après l'irradiation.

- Les protéines du fait d'une modification de configuration ont leur viscosité modifiée, elles peuvent donner des dégagements gazeux indésirables, ammoniaque ou hydrogène sulfuré; mais aux doses usuelles, le pouvoir nutritionnel n'est généralement pas affecté.

- Les lipides donnent naissance à des peroxydes, en partie, du fait de la dégradation d'une vitamine anti-oxydante (E ou tocophérol).

- Les glucides se dépolymérisent ou se transforment en unités plus simples, plus facilement utilisables.

"Des esprits audacieux ont même songé à utiliser ces effets pour donner une valeur alimentaire à la sciure de bois". (5)

- Les enzymes sont pratiquement inactivés au-dessus d'un Méga-rad (1 Mrad = 10^6 rads)

LES VITAMINES (20).

Etant donné l'objet de ce travail, nous ne pouvons passer sous silence les effets d'autres agents que les radiations ionisantes tels que la chaleur, l'oxygène et la lumière sans compter que ces agents auront souvent une action simultanée sur les vitamines et que l'action de chacun de ces agents pourra être modifiée par l'intervention des autres.

Sensibilité des vitamines à l'action de divers agents

Selon CAUSERET et MOCQUOT (20)

VITAMINES	CHALEUR *	OXYGENE	LUMIERE **	RAYONNEMENTS IONISANTS
Vitamines Hydrosolubles				
Ac. ascorbique	0	++	+	++
Thiamine	++	0 ou +	0 ou +	++
Riboflavine	0	0	++	0
Ac. Nicotinique	0	0	0	0 ou +
Ac. pantothénique	+	0	0	?
Pyridoxine	0	0 ou +	+	+
Biotine	+	0	0	?
Ac. Folique	+	+	+	?
Cobalamine	0	+	+	++
Ac.p.aminobenzoïque	0	+	0	?
Choline	0	+	0	?
Inositol	+	0	0	?
Vitamines Liposolubles				
Vitamine A	0 ou +	+	+	++
β . Carotène (provit. A)	0 ou +	+	+	++
Vitamine D	0	0 ou +	0 (***)	0
Vitamine E	0	++	0 ou +	++
Vitamine K	0	0	+	+ ou ++

\+ Sans intervention d'oxygène

++ Spectre visible et ultra-violet

+++ Certaines "provitamines D" sont transformées en Vitamines D par les rayons ultra-violets.

Ce tableau montre la difficulté qu'il y aura dans les résultats expérimentaux à distinguer l'action effective des R.I. par rapport à l'action d'autres agents destructeurs.

D'après cette étude sont franchement radio-sensibles :

- Cobalamine
- Acide ascorbique
- Thiamine
- Vit. A et β - carotène
- Vit. E
- Vit. K

A un degré moindre :

- Pyridoxine

Ne semblent pas sensibles ou peu sensibles :

- Acide Nicotinique
- Riboflavine
- Vit. D

Il n'y a pas de renseignements suffisants concernant :

- Acide pantothénique
- Biotine
- Acide folique
- Acide p. aminobenzoïque
- Choline
- Inositol

Ce tableau est de valeur relative comme le soulignent d'ailleurs CAUSERET et MOCQUOT ; certaines vitamines apparemment radio-résistantes peuvent être sensibles lorsqu'on applique des doses d'irradiation suffisamment fortes.

Il semble donc que les R.I. aient un effet important sur les Vitamines C et B1, aucun effet sur la vitamine B2, une action incertaine sur la vitamine P.P. et une petite action sur la vitamine B6.

Pour les autres vitamines il y a des variations dans l'estimation de la radio-sensibilité selon les auteurs.

- La vitamine B 12 serait plus sensible que la vitamine C (59).

- La Biotine (24) étudiée particulièrement par SJÖSTEDT et ERICSON serait détruite de 4 % sous 10.000 rads, de 67 % sous 100.000 rads, de 100 % sous 1.000.000 rads; alors que pour KENNEDY T.S.(58) il y a une destruction de 1 % sous 0,02 Mrad (20.000 rads) et de 10 % sous 0,2 Mrad (200.000 rads) dans la farine.

- L'acide pantothénique serait sensible dans de la farine irradiée sous 0,02 et 0,2 Mrad à des taux de destruction de 4,2 % et 10,6 %. (58)

- La vitamine A serait détruite sous 10^5 rads à 30 % d'après ANDERSEN (40) résultat qui correspond à celui de KUNG et Coll. (73) pour la vitamine A dans le lait.

Dose d'irradiation	80.000 rads	240.000 rads	480.000 rads	960.000 rads
Destruction	31 %	46 %	70 %	85 %

- La vitamine K est également radio-sensible, mais les résultats paraissent tout à fait surprenants; en effet dans les aliments contenant de petites doses de vitamine K, l'irradiation serait très efficace dans sa destruction, alors que dans les aliments à haute teneur, l'irradiation aurait peu d'efficacité.

La vitamine K dans la viande serait particulièrement sensible alors qu'elle paraît radio-résistante dans les végétaux. En effet, on a remarqué un effet hémorragique chez le rat à qui on donne une nourriture irradiée; ce qui correspondrait à une insuffisance de vitamine K.

Cet aspect de l'effet de l'irradiation sur la vitamine K a déjà été l'objet de recherches pour METTA V.C., MAMEESH M.S. et JOHNSON B.C. (51). En France FAUCHET M. (34) vient d'y consacrer une étude où il oppose une grande radio-sensibilité (environ 50 % dans la viande de boeuf) à des doses d'irradiation de 2,79 et 5,58 Mrad à une relative résistance à 1 Mrad (ampoule de vitamine K1 à usage thérapeutique). De nouvelles études seraient en cours pour essayer de clarifier ce problème.

La vitamine E est radio-sensible surtout en présence d'oxygène, à 2,79 rad il y a une destruction de 60 % mais 31,8 rad en atmosphère azotée n'ont pas d'action (52) (53).

D'autre part une comparaison est intéressante à faire entre les teneurs de vitamines dans les produits de conserve et dans les produits irradiés.

Une étude a été faite sous une irradiation (non explicitée) probablement de 3 millions de Rads (5).

RETENTION DE VITAMINES DANS LES PRODUITS EN CONSERVES		
VITAMINES	APPERTISATION	IRRADIATION
Thiamine	35 %	35 %
Riboflavine	80 %	80 %
Pyridoxine	70 %	75 %
Niacine	75 %	75 %
Acide folique	70 %	90 %
Vitamine A	80 %	75 %
Vitamine E	90 %	75 %
Vitamine K	90 %	15 %

Aussi sauf pour la vitamine K les taux de destruction de vitamines par l'irradiation par rapport à l'Appertisation sont donc très satisfaisants.

VI - Examen des effets indésirables

- Les modifications des propriétés organoleptiques (5) (8)

L'irradiation peut produire des modifications de l'odeur, de la couleur et de la texture de l'aliment.

- Odeur : surtout dans la viande, il y aurait formation d'hydrogène sulfuré et de méthyl mercaptan, la teneur en lipides et l'importance de la dose favoriseraient cette production.

- Couleur : ne dépendrait que de la quantité d'oxygène présent.

- Texture : dans les végétaux irradiés, il y aurait une modification de la pectine se traduisant par un certain degré de mollesse.

Les modifications n'existeraient surtout que pour des valeurs élevées de la dose d'irradiation. Au cas où cette dose correspondrait à la dose pratique, il suffirait de la diminuer mais en associant un autre procédé de conservation.

- Le danger de la radio-activité induite.

Il n'existe pratiquement que pour une énergie supérieure à un certain "seuil" qui est 10 MeV (1 MeV = 10^6 e V).
En technologie alimentaire, les sources utilisées émettent une énergie égale ou inférieure à 10 MeV, il n'y a donc pas de risques d'activité résiduelle dans les aliments irradiés (8).

- La valeur nutritive

Des études pratiquées sur la valeur nutritive des aliments irradiés avec lesquels étaient nourris des animaux de laboratoire n'ont montré :

- aucune anomalie de croissance
- aucune différence dans la quantité d'aliments consommés.
- mais une limitation de la fertilité du mâle et une augmentation de la mortalité dans les portées. On a invoqué une destruction vraisemblable de la vitamine E car les phénomènes régressaient lorsque le régime était complété par de l'α -tocophérol. Cette constatation est en corrélation avec l'hypothèse

selon laquelle le processus d'irradiation est de "nature oxydante" et facilite la destruction des anti-oxydants tels que la vitamine E (71).

- Enfin les radiations ionisantes ne seraient-elles pas susceptibles de provoquer la formation de composés toxiques dans les aliments ?

Cette question constitue le "frein" psychologique tant au niveau du public qu'au niveau des instances supérieures comme le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France qui hésite à se porter garant de l'innocuité du procédé ; alors qu'il semble que l'on puisse considérer comme acquis les résultats sur l'innocuité des produits.

Cette méfiance a été bien traduite par l'importance donnée dans la presse, en 1965, à une publication de trois chercheurs de l'université de Cornell, HOLSTEN, SUGII et STEWARD concernant la formation après irradiation d'antagonistes susceptibles de freiner la croissance d'organismes inférieurs dans lesquels ils pénètrent et de modifier leur patrimoine héréditaire (36).

GOLDBLITH, qui fut l'un des pionniers de l'irradiation alimentaire, a facilement réfuté ces objections en démontrant que ces conclusions étaient rapides et incorrectes, que des produits toxiques pour des organismes simples ne l'étaient pas pour les organismes complexes, qu'il existait aussi bien des inhibiteurs de croissance dans des produits frais ou traités d'une autre façon, qu'enfin depuis dix ans, vingt-et-un produits alimen-

taires irradiés, n'avaient jamais montré la moindre toxicité sur des animaux supérieurs (37).

VII - Examen des modifications de la radio-sensibilité selon les conditions de l'expérience.

1) Dose d'irradiation

Il semble que certains micro-organismes possèdent une résistance exceptionnelle, c'est le cas en particulier des micrococcus rouges, de streptocoques fécaux et de certaines levures; d'autre part dans certains cas on a pu augmenter progressivement la radio-résistance de certaines bactéries jusqu'à la doubler par l'application d'un petit nombre de doses répétées à une intensité constante (10). A doses fractionnées l'effet est en général moindre car les lésions se réparent plus ou moins entre deux séances consécutives.

2) Pression partielle d'oxygène

Dans un milieu irradié, le degré de l'effet augmenterait avec cette pression, la présence de O2 selon Mme S. (Davydoff-Alibert) doublerait ou triplerait la sensibilité à l'irradiation des bactéries à l'état de repos (11).

On sait que l'oxygène augmente le rendement de nombreux effets radio-chimiques, le rôle de l'oxygène s'expliquerait par la formation de radicaux HO'2, de H2 O2 et de peroxydes organiques de type R-O-O-H ou R-O-O-R'.

Cependant il existe des lésions oxygéno-indépendantes.

3) Effet de protection

Certains composés exercent un effet protecteur ou provoquent une diminution notable des lésions.

La plupart de ces bons protecteurs sont de bons réducteurs capables de réagir avec les agents d'oxydation, libérés par l'effet des radiations (11).

4) Influence de la température

Le degré de l'effet serait moindre quand la température diminue si le milieu irradié est une "solution enzymatique" ou une suspension de particules virales.

Les effets de l'irradiation sont différents selon que la température est supérieure ou non à celle du point de congélation du système.

- Au-dessus du point de congélation, l'effet de la température jusqu'à "20 degrés centigrades" est faible.

- Au-dessous de "moins 20 degrés centigrades", la congélation réduit l'influence de l'irradiation sur l'aliment, mais elle réduit également cette influence sur les bactéries à l'état de repos; par contre on a trouvé que les spores de Cl. Botulinum ne bénéficiaient pas d'une protection analogue de sorte qu'on pourrait penser utiliser l'irradiation pour stériliser la viande à des températures de "moins 20 degrés centigrades" ou inférieures mais il y aurait alors double emploi dans ces procédés de conservation.

5) La teneur en eau des produits irradiés aurait une influence considérable dans la mesure où elle surajoute à l'effet

propre sur la denrée, les effets dus à la radiolyse de l'eau.

Pour essayer de supprimer les effets indésirables dus à l'irradiation, diverses techniques ont été essayées :

- élimination de l'oxygène
- utilisation de basses températures
- application de traitements de chauffage
- utilisation d'additifs convenables, tels que capteurs de radicaux libres etc.
- abaissement des doses.

*
* *

II ème PARTIE

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

BILAN DES ETUDES FAITES A CE JOUR SUR LES EFFETS DE L'IRRADIATION SUR LES VITAMINES HYDROSOLUBLES DU GROUPE B (B1, B2, B6 et PP) ET SUR LA VITAMINE C

-:-:-:-

Les premiers travaux remontent à 1949 avec PROCTOR et GOLDBLITH. De nombreuses publications se sont succédées jusqu'en 1961, année où KRAYBILL au congrès de Bruxelles fait une mise au point des caractères généraux des effets de l'irradiation sur les vitamines. Depuis, nous avons eu en France, les études de CAUSERET et MOCQUOT et de Melle LECLERC.

- La thiamine est la vitamine la plus radio-sensible du groupe B.

Ainsi de la viande de boeuf irradiée par 3 Megareps perd plus de 60 % de sa teneur en vitamine B 1 (31); dans du lait pasteurisé par 0,1 Mégarad, la destruction est de 40 % et dans un oeuf congelé et traité à 0,5 Mégarad, la perte est de 30 % (8) (57).

Légumes et céréales : stabilité de la teneur vitaminique dans la pomme de terre irradiée par 20.000 rads, mais augmentation de cette teneur (EGIAZAROV) après irradiation de sarrazin et d'orge par 50.000 rads.

Les jus de fruit (orange et tomate) : la destruction serait très nette à 500.000 rads (7) (20) (23) (29).

Pour SJÖSTEDT et ERICSON, la destruction en général serait nette à partir de 100.000 rads alors que 10.000 rads n'auraient pratiquement pas d'effet (24).

Il semble que la radio-sensibilité soit beaucoup plus grande dans les solutions aqueuses que dans les milieux biologiques où pourrait même se développer une radio-résistance par association d'un corps protecteur, comme la caséine dans l'expérience de RICHARDSON et Coll. (25).

Il serait également possible d'obtenir une certaine protection de la thiamine en irradiant à très basse température ce qui entrainerait un blocage de radicaux libres (lors de la congélation de l'eau probablement) (54).

- à - 75° C : pas de perte de thiamine
- à - 10° C : 24 % détruite
- de 0° à 40° C : 60 à 70 % détruite.

- La Niacine au contraire serait plus radio-sensible à basse température.

Selon CAUSERET et MOCQUOT, elle serait "sensible ou peu sensible" selon les conditions usuelles d'emploi en technologie alimentaire.

Pour la plupart des auteurs, elle est résistante à de fortes doses d'irradiation. Ainsi elle n'est pas détruite dans la viande de boeuf irradiée par 3 Mégareps, par contre pour une

concentration de 50 µg/ml elle subirait une destruction partielle entre 50.000 et 100.000 r alors qu'à 100 µg/ml elle n'était pas détruite pour une irradiation de 125.000 à 850.000 r (28) (32). Ainsi des variations de dilution entraîneraient des résultats mal explicables.

La niacine serait donc peu sensible en solution pure et dans la plupart des milieux biologiques, mais dans certains cas en fonction de la dilution ou en présence de certains corps comme la méthionine et surtout de l'acide ascorbique il y aurait destruction.

- La vitamine B 2 est peu radio-sensible.

Dans la viande de boeuf irradiée par 3 Mégareps, il y aurait seulement destruction de 8 %; cependant pour d'autres auteurs (KUNG et GADEN en particulier) (33) il y aurait une forte destruction, ainsi dans le lait :

Dose d'irradiation :	80.000 rads	240.000 rads	480.000 rads	960.000 rads
Destruction :	10 %	24 %	37 %	47 %

et pour ANDERSEN (40), dans le lait également, une destruction de 7 % à 10^5 rads.

Cette destruction serait d'autant plus grande que la solution est plus diluée (50) (56).

Enfin pour Melle LECLERC, il pourrait y avoir une légère augmentation de la vitamine B 2 dans les légumes et la farine après irradiation.

- La vitamine B6 est radio-sensible.

On signale 25 % de destruction dans de la viande de boeuf irradiée à 3 Mégareps.

Comme les autres vitamines, elle est plus sensible en solution pure qu'en milieu biologique (31) (50) (57).

- La vitamine C serait encore plus sensible que la thiamine à l'irradiation.

Dans le lait, d'après KUNG et Coll. (33) :

Irradiation	80.000 rads	240.000 rads	480.000 rads	960.000 rads
Destruction	77 %	88 %	100 %	100 %

Pour ANDERSEN, (40), des doses de 2.10^4 rads font tomber la teneur au litre de 20 mg à 7 mg, pour 10^5 rads la teneur tombe à quelques dixièmes de mg.

Dans les légumes, une irradiation de 20.000 rads ne modifierait pas la teneur en vitamine C des pommes de terre, oignons, choux, carottes; d'autres résultats montreraient, à cette dose, une destruction dans la pomme de terre et une légère augmentation dans des patates douces et des carottes.

Enfin, pour EGIAZAROV, il y aurait une augmentation sensible de l'acide ascorbique à 50.000 rads pour la pomme de terre et la carotte (7) (20) (23) (29).

TENEUR EN VITAMINE C DANS DES PRODUITS ALIMENTAIRES

APRES IRRADIATION

Selon EGIAZAROV (29).

(en mg pour 100 g).

VITAMINE C

	Nb Analyses	le témoin	25.000	50.000	100.000	150.000
Pommes de terre	13	5,13	5,20	8,09	5,29	4,88
Carottes	9	4,45	4,39	7,78	4,34	2,51

L'irradiation a été faite dans l'obscurité à une température entre 5° C et 8° C.

Le débit de dose : 18.000 Rads à l'heure et le dosage a été fait aussitôt après l'irradiation.

Ces résultats nous ayant paru assez surprenants; nous avons voulu vérifier dans notre thèse ce point particulier : il est en effet étonnant qu'une dose intermédiaire ait une propriété contraire à celle des doses voisines inférieures et supérieures.

On pourrait expliquer cette augmentation sachant que le glucose irradié donne de l'acide glycuronique qui secondairement peut se transformer en acide ascorbique sous l'action des R.I. à faibles doses.

EGIAZAROV expliquerait cette "synthèse" comme due à une réaction de défense de la part du tissu végétal à l'action des radiations à haute énergie.

Dans les jus de fruit, la vitamine C est très résistante puisqu'il en reste 77 % après une stérilisation à 3 MeV.

L'étude "Princeps" de PROCTOR et GOLDBLITH a montré la grande variation de la destruction en fonction de la dilution (voir Planche I) (48).

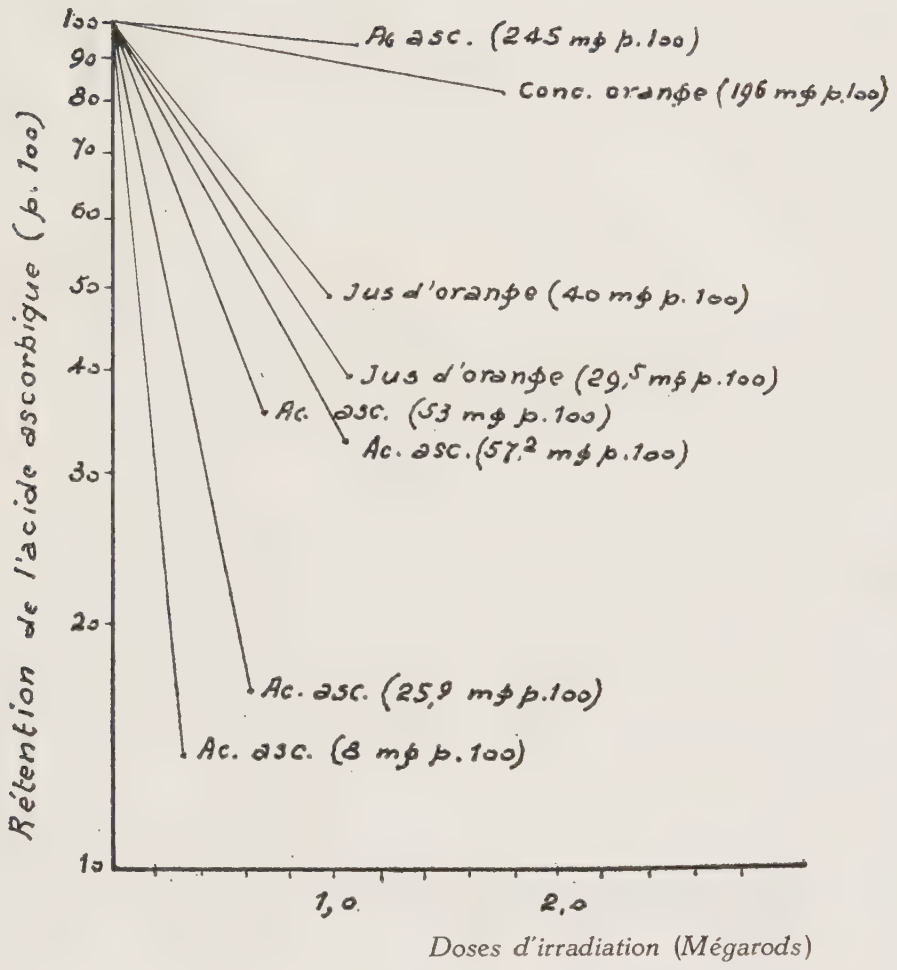
Pour d'autres auteurs, la vitamine C serait stable dans du jus de tomate irradié à 500.000 Rads.

Pour Melle LECLERC, abaissement très net à 500.000 Rads de la teneur dans les jus d'orange et de tomate.

Par ces caractères, la vitamine C est très comparable à la thiamine. Comme on l'a vu sa radio-sensibilité est beaucoup plus grande dans les solutions aqueuses que dans les milieux biologiques où pourrait même se manifester une radio-résistance par association d'un corps protecteur, naturel ou non (acide oxalique, anti-oxygène).

D'autre part, la radio-sensibilité est également moins grande aux basses températures.

Le Congrès de Bruxelles de 1961, a résumé les travaux effectués à cette date et définit ainsi les caractères des variations de la teneur vitaminique après irradiation (21) (22) (30).



Effets des R I sur l'acide ascorbique en solution pure à diverses concentrations (8 à 245 mg p. 100 ml), dans un jus d'orange (40 mg p. 100 ml) et dans un concentré de jus d'orange (106 mg p. 100 ml). (D'après PROCTOR et GOLDBLITH [48].)

- La destruction des vitamines varie d'un aliment à un autre, elle dépend de la concentration et de la forme sous laquelle elle se trouve dans cet aliment (libre ou combinée). La présence ou l'absence de certains composants et la nature de certaines structures chimiques influencent cette destruction ainsi l'α -tocophérol exerce un effet protecteur sur la vitamine C.

- Le milieu :

L'effet des destructions est moins important dans l'aliment que dans la solution pure. Le volume d'eau inclus dans la substance a une grande importance et naturellement le pH.

- La différence de sensibilité selon les vitamines.

Les lipo-solubles sont sensibles ainsi que certaines hydro-solubles, en particulier, l'acide ascorbique et la thiamine.

Quelques hydro-solubles sont résistantes (Niacine).

- La dépendance de la dose :

La dose et le débit de dose interviennent directement dans l'effet biologique.

- Les conditions de pression de gaz et de température. La pression d'oxygène a une grosse importance.

La thiamine et l'acide ascorbique sont protégés à basse température alors que la destruction de l'acide nicotinique est au contraire favorisée.

- La destruction des vitamines par irradiation est comparable à la destruction par d'autres processus. Certaines vitamines sont détruites par l'irradiation, d'autres par la chaleur.

III è m e P A R T I E

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

E X P E R I M E N T A T I O N

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

IRRADIATION D'ALIMENTS CONTENANT LES VITAMINES B1, B2, B6 et PP ET LA VITAMINE C

RESULTATS OBTENUS

-:-:-:-

I - Technique de l'irradiation

Nous avons pu disposer, grâce à l'amabilité de Mr. DUPUY Maître de Recherches à l'I.N.R.A., de l'irradiateur au Cobalt 60 de la Station de technologie végétale à "La Sablière" à Versailles.

Cet irradiateur est constitué de 12 crayons de Cobalt radio-actif disposés en couronne autour d'une chambre d'irradiation. Les échantillons y sont introduits par un piston.

La dosimétrie de la source a été établie en utilisant l'oxydation du Sulfate ferreux (dosimétrie de Fricke) suivant la technique de Sutton. On s'est arrangé pour obtenir un champ aussi homogène que possible; cette homogénéité a été appréciée en suivant les modifications de densité optique dans du plexiglass irradié.

Les pourcentages d'écart par rapport à un point situé dans le plan équatorial de la chambre et choisi arbitrairement sont réunis dans la Planche II. Le Champ présente 4 Maxima et 2

Minima. On a pu ainsi apprécier l'homogénéité de la dose reçue par un récipient contenant les ampoules à irradier. Les écarts des doses reçues n'ont pas excédé ± 2 %.

Le calcul de la décroissance de la source en fonction du temps a donné les doses suivantes reçues dans la partie centrale du cylindre :

- 1,802 K rad/min. au mois de janvier 1964
- 1,577 K rad/min. " " " " 1965
- 1,380 K rad/min. " " " " 1966

Les différentes doses d'irradiation ont donc été obtenues en faisant varier le temps de l'irradiation.

L'expérimentation a été pratiquée dans les conditions pratiques (760 cm d'Hg - 15° C).

Les deux planches III et IV représentent le schéma du récipient contenant les ampoules à irradier et l'irradiateur.

Nous avons irradié successivement :

- des levures
- de la farine de riz
- des pommes de terre
- des carottes

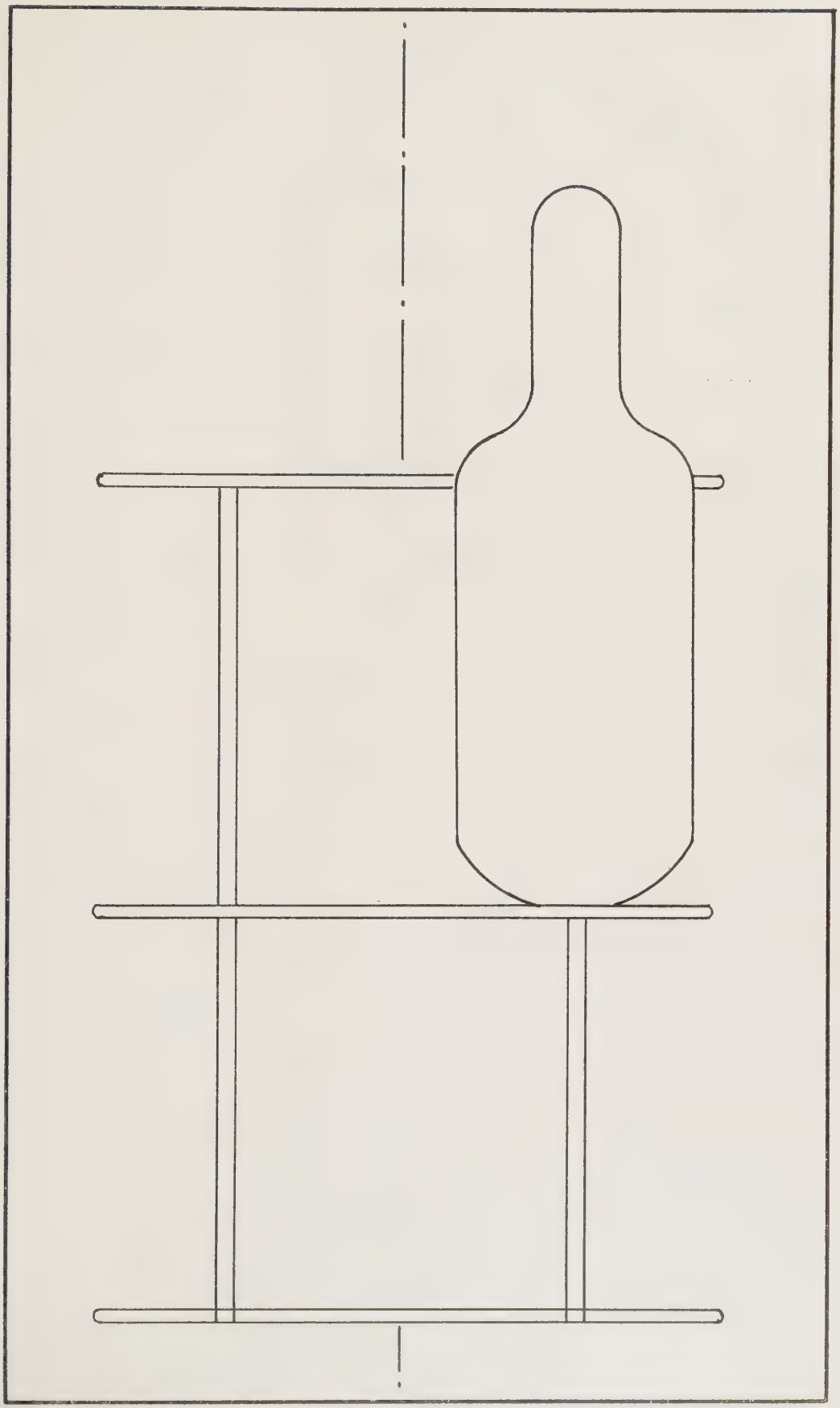
PLANCHE II

POURCENTAGES D'ECART DES DOSES RECUES DANS LA CHAMBRE

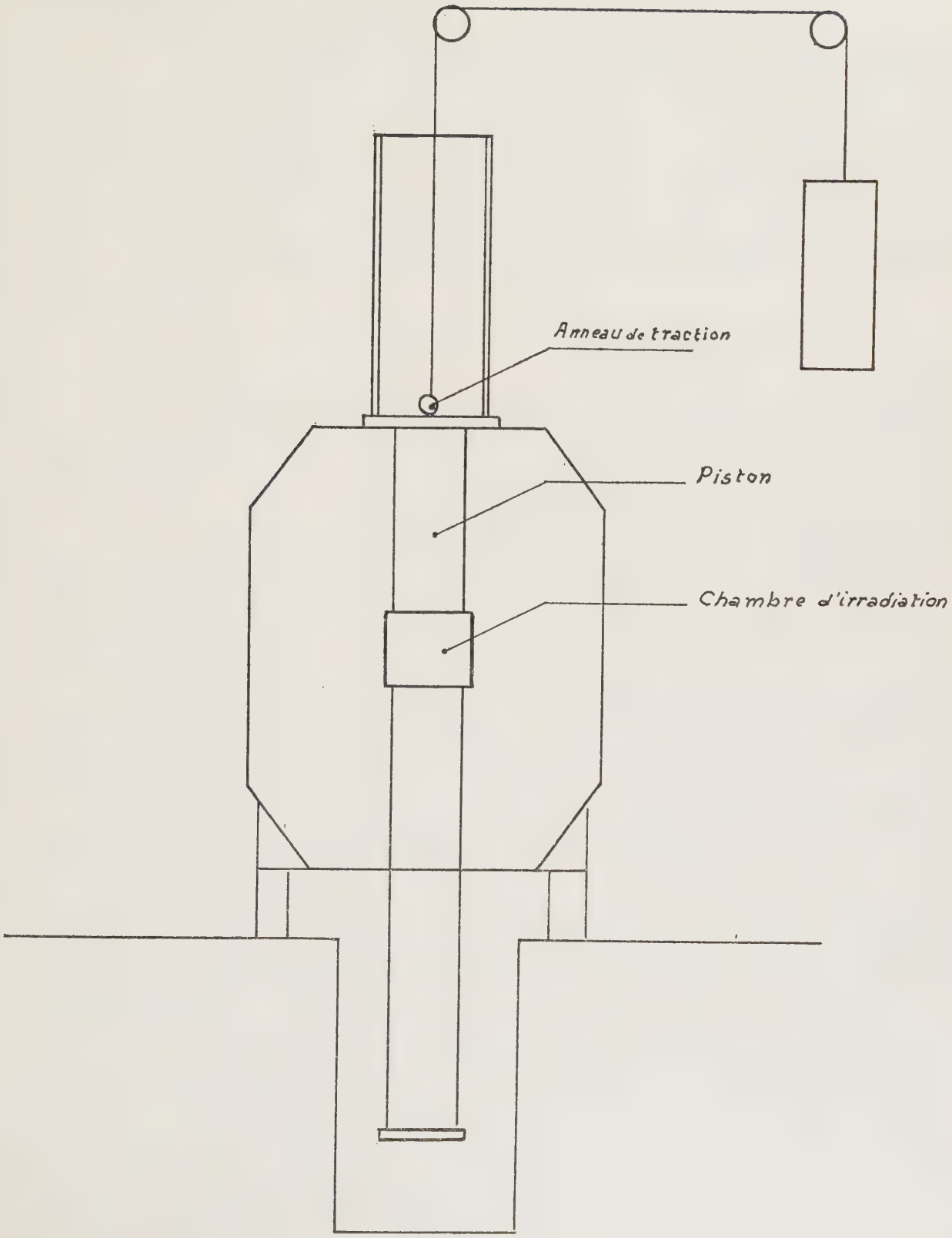
PAR RAPPORT AU POINT CENTRAL O

+ 5,9	+ 0,65	- 2,9	- 5,2	- 6,3	- 4,5	- 3,2	- 0,9	- 0,3
+12,1	+ 7,7	+ 3,4	+ 0,9	+ 0,2	+ 0,6	+ 4,2	+10,7	+11,9
+ 7	+ 4,4	+ 2,9	+ 0,8	+ 0,12	+0,26	+ 2,6	+ 5,1	+ 3,9
- 1,3	+ 1,05	- 0,65	0	- 2,1	- 2,7	- 0,26	- 0,11	- 5
-0,12	+ 2,2	+ 0,26	+ 0,12	+ 0,8	-0,26	+ 0,12	- 0,62	- 3,2
+ 9,3	+ 7,7	+ 5,8	+ 0,9	+ 1,08	+ 1,7	+ 4,3	+ 5,7	+ 6,6
+13,6	+ 8,2	+ 0,8	+ 1,05	+ 1,08	+ 2,1	+ 3,5	+ 9,1	+11,4
+ 2,3	- 1,7	- 4,5	- 6,05	- 5,9	- 6,8	- 4,2	- 3,1	- 0,5

SCHEMA DU RECIPIENT
CONTENANT LES AMPOULES A IRRADIER



SCHEMA DE L'IRRADIATEUR



II - Principes de dosages

Les principes de dosage vitaminique sont les suivants : Pour les vitamines du Groupe B, ce sont des dosages micro-biologiques où l'on établit une courbe de croissance pour un micro-organisme ne se multipliant qu'en présence de telle ou telle vitamine et l'on calcule par comparaison la teneur vitaminique du corps expérimenté.

On a utilisé :

- pour l'acide Nicotinique, le Lactobacillus Arabinosus ou Plantarum selon la technique de SNELL E.E., WRIGHT L.D. (62).

- pour la vitamine B6, le Saccharomyces Carlsbergensis selon la technique de ATKIN L., SCHULTZ A.S., WILLIAMS W.L., FREY C.N. (63).

- pour la vitamine B1, le Lactobacillus Viridescens selon la technique de D.H. DEIBEL, J.B. EVANS, C.F. NIVEN (64).

- pour la vitamine B2, le Lactobacillus Casei ATCC 7469 selon la technique de SNELL E.E. et STRONG F.M. (65).

- pour la vitamine C, nous avons utilisé la méthode classique à la diphénylhydrazine selon la technique de ROE J.H. et OESTERLING M.J. (66).

III - Résultats

1) LES LEVURES :

a) Préparation en vue du dosage de vitamines

Ce sont des Saccharomyces cerevisiae, souche CC 53-1

- Milieu de culture :

Mélasse de Betterave	110 g
Peptone	10 g
Phosphate monopotassique	1 g

q.s.p. 1 litre

- Mode de culture :

Agitée 450 ml de milieu dans des Erlenmeyer de 6 l

t° : 27°

Durée de la culture 24 h.

Ensemencement 30 ml d'une culture identique.

- Récolte :

8.12.64

Les cellules sont centrifugées, lavées 2 fois à l'eau et lyophilisées aussitôt.

- Echantillons :

Les levures en poudre sont réparties dans des ampoules par échantillons de 100 mg, écart type de la moyenne des pesées $\sigma_{\bar{x}}$ = 0,22 mg.

- Un lot conservé sec :

  - une partie irradiée à la dose de 1 Mrad
  - une partie non irradiée.

- Un lot additionné de 0,5 ml de tampon phosphate

  pH = 6,8 0,05 M

  - une partie irradiée à la dose de 1 Mrad
  - une partie non irradiée.

  Les ampoules des lots irradiés sont brunes.

  Toutes les ampoules sont scellées à l'air le 10.12.64 et conservées au frigidaire. Chaque essai est constitué par 40 ampoules.

Un premier lot de levures lyophilisées avait été récolté précédemment (le 16.11.64) et on avait effectué une série de tests vitaminiques pour mettre au point les dosages micro-biologiques.

b) Nous avons les résultats suivants :

- Pour la vitamine B1,

	en µg/g de produit sec
Levures lyophilisées	36
récoltées le 16.11.64	38,2
	38,2

qui constituent un témoin

Levures récoltées le 8.12.64 : teneur en µg/g de produit sec			
Levures lyophilisées		Levures en suspension	
Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées	Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées
30,55	39,93	25,48	33,89
35,97	36,30	24,37	31,65
27,42	36,25		
Moy : 31,3	Moy : 37,5	Moy : 24,9	Moy : 32,8

Chaque ligne horizontale correspond à des dosages pratiqués à la même date.

Entre chaque série il y a un intervalle de 15 jours.

Il y a une destruction de 16 % dans les levures sèches, de 24 % dans les levures irradiées.

- Pour la vitamine P P

	en μg/g de produit sec
Levures lyophilisées	269
récoltées le 16.11.64	281

qui constituent un témoin

Levures récoltées le 8.12.64 : teneur en μ g/g			
Levures lyophilisées		Levures en suspension	
Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées	Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées
320	373	530	590
224	453	489	588
367	156	531	596
276	365	648	612
225	314	630	687
193	207	463	591
264	231	524	554
Moy : 282	Moy : 332	Moy : 545	Moy : 603

Chaque ligne horizontale correspond à des dosages pratiqués à la même date.

Entre chaque série, il y a un intervalle de 15 jours.

Il y a une destruction de 9 % dans les levures en suspension, de 15 % dans les levures lyophilisées.

- Pour la vitamine B6

	en µg/g
Levures lyophilisées	14,7
récoltées le 16.11.64	23

qui constituent un témoin

Levures résultées le 8.12.64 : teneur en µg/g			
Levures lyophilisées		Levures en suspension	
Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées	Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées
5,1	4,68	29	28,5
6,36	6,2	32,9	28,72
9,53	9,02	32,76	35,82
10,56	10,1	32,3	35

Les deux premiers dosages ont été effectués à un mois d'intervalle, les deux derniers, une dizaine de jours après la deuxième.

L'Irradiation ne semble pas avoir d'action sur la vitamine B6.

- Pour la vitamine B2

	en μg/g de produit sec.
Levures lyophilisées récoltées le 16.11.64	35,5

qui constituent un témoin

Levures récoltées le 8.12.66 : teneur en μ g/g			
Levures lyophilisées		Levures en suspension	
Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées	Irradiées par 1 Mrad	Non irradiées
49	45,25	54,9	47,7
29	30,30	43,8	45,7
50	52,70	66,4	57,7
61,5	46,4	72,75	66,47

Chaque ligne horizontale correspond à des dosages pratiqués à la même date.

L'Irradiation ne semble pas avoir d'action sur la vitamine B2.

- En résumé, nous avons :

Une destruction assez nette de la vitamine B1, plus sensible dans les levures en suspension que dans les levures sèches.

L'irradiation ne semble pas avoir d'action sur la vitamine B6 ni sur la vitamine B2.

Enfin la vitamine PP semble un peu moins sensible que le thiamine à l'irradiation.

- Il nous a paru intéressant de compléter notre étude par la détermination des cellules revivifiables et la recherche de la respiration et de la fermentation sur du glucose à 1 %, par la méthode de Warburg.

Protocole expérimental :

Le contenu d'une ampoule est dilué avec du tampon phosphate 0,02 M pH = 6,7 pour donner 10 ml de solution.

Après deux heures d'incubation pour permettre la réhydratation des cellules séchées, on fait des dilutions décimales et on place 1 ml de ces dilutions en culture dans un milieu gélosé en boîte de Pétri.

Après 4 jours d'incubation à 30° C, on détermine le nombre de colonies formées que l'on rapporte au nombre de cellules déterminées sous le microscope dans la cellule de Thoma.

Résultats

Echantillons	cellules vivantes
N° 1 levure sèche irradiée	$< \frac{1}{3\ 10^{8}}$
N° 2 levure sèche non irradiée	0,002 %
N° 3 levure en suspension irradiée	$< \frac{1}{2.8.10^{8}}$
N° 4 levure en suspension non irradiée	0,30 %

Respiration et fermentation sur glucose 1 %

	Q 02	Q C02
N° 1	5,9	4,5
N° 2	4,5	1,5
N° 3	1,6	1
N° 4	0,1	0,1

Le nombre de cellules revivifiables est donc tout à fait insignifiant et la respiration ou la fermentation est très faible.

Ces deux études complémentaires nous montrent donc que pratiquement toutes les cellules ont été tuées par les procédés technologiques appliqués c'est à dire essentiellement la lyophilisation et l'irradiation.

La réduction de l'intensité respiratoire et la faible quantité de CO_2 sont en faveur d'une destruction enzymatique.

2 - LA CREME DE RIZ

a) Protocole expérimental :

C'est une crème de riz du commerce conditionnée en emballage carton. Après avoir été mélangée de façon à obtenir une parfaite homogénéité, la crème est répartie dans des flacons par échantillons d'environ 100 g.

- Le premier lot est simple.
- Le deuxième lot est complémenté.

Les flacons complémentés ont été additionnés de 2 mg pour 100 g en poudre de vitamine B1, B6, ou PP et les deux parties ont été mélangées ensembles dans un mortier.

Pour chaque lot l'ensemble a été divisé en cinq parties, l'une étant un témoin, les autres étant irradiées sous 15 Krad, 100 Krad, 500 Krad et 1.000 Krad.

VITAMINE B1

CREME DE RIZ SIMPLE — pour 100 g en µg

Irradiation	0	15 krad	100 krad	500 krad	1000 krad
Nbre de dosages	26	13	13	12	12
Quantité moyenne de Vitamine B1	85,4	83,79	83,98	78,03	73,84

CREME DE RIZ COMPLEMENTEE — pour 100 g en µg

Irradiation	0	15 krad	100 krad	500 krad	1000 krad
Nbre de dosages	22	12	13	11	12
Quantité moyenne de Vitamine B1	1890,38	1838,8	1840,2	1629	1488,4

VITAMINE P P

CREME DE RIZ SIMPLE pour 100 g en mg

Irradiation	0	15 krad	100 krad	500 krad	1000 krad
Nbre de dosages	21	9	9	9	9
Quantité moyenne de vitamine PP	2,09	1,95	2,13	2,20	2,19

CREME DE RIZ COMPLEMENTEE pour 100 g en mg

Irradiation	0	15 krad	100 krad	500 krad	1000 krad
Nbre de dosages	18	9	9	8	9
Quantité moyenne de vitamine PP	3,90	3,94	3,81	3,96	3,82

VITAMINE B6

CREME DE RIZ SIMPLE pour 100 g en μg

Irradiation	0	15 krad	100 krad	500 krad	1000 krad
Nbre de dosages	6	2	2		
Quantité moyenne de vitamine B6	52,9	47,9	49,2		

CREME DE RIZ COMPLEMENTEE pour 100 g en μg

Irradiation	0	15 krad	100 krad	500 krad	1000 krad
Nbre de dosages	5	2	2		
Quantité moyenne de vitamine B6	1519,4	1474,5	1516		

b) Les résultats nous montrent :

- pour la vitamine B1, une destruction à partir de 500 krad aussi bien pour la crème simple que pour la crème complémentée.

- pour la vitamine PP et pour la vitamine B6, pas d'effet notable.

Nous avons recherché la teneur en eau pour chaque échantillon expérimenté, connaissant l'influence possible des effets de la radiolyse de l'eau.

La teneur en eau pour chaque échantillon était de l'ordre de 11 %.

3 - LA POMME DE TERRE

Le but de notre expérimentation était de mettre en évidence l'augmentation de vitamine C démontrée par EGIAZAROV dans son travail.

a) Protocole expérimental :

- Préparation en vue du dosage de la Vitamine C

- Pommes de terre "Syrtema", cultivées à l'Ecole d'Horticulture de VERSAILLES. Récoltées et mises en échantillon (de trois tubercules) d'environ 100 g dans des emballages plastiques avec des trous d'aération.

Pour l'extraction de l'acide ascorbique, les pommes de terre ont été passées dans l'appareil Broyeur de BRAUN et le jus a été reçu dans une solution d'acide métaphosphorique, ajoutée ensuite à un volume connu.

L'ensemble est divisé en deux lots :

- l'un dont le dosage en acide ascorbique sera pratiqué aussitôt,

- l'autre dont le dosage sera pratiqué 7 jours plus tard, après avoir été entreposé dans l'ombre et au frais (15 - 18° C).

Chaque lot est divisé en quatre parties, l'une étant témoin, les autres étant irradiées sous 10 krad, 40 krad et 100 krad.

TENEUR EN mg EN ACIDE ASCORBIQUE POUR 100 g de PRODUITS FRAIS

	TEMOIN	10 Krad	40 Krad	100 Krad
IMMEDIATEMENT APRES L'IRRADIATION	35,7 34,1 36,4 moy. 35,4	33,5 38,6 39,2 moy. 37,1	30,6 36,0 41 moy. 35,9	32,5 34,5 35,0 moy. 34
APRES 7 JOURS A 18° DANS LA PENOMBRE	26,0 28,1 31,9 33,2 moy. 29,8	22,8 24,4 24,6 moy. 23,9	16,0 19,1 19,8 moy. 18,3	16,3 18 19,7 moy. 17,9

b) Les résultats ne nous montrent :

- aucune augmentation en acide ascorbique à la dose intermédiaire de 40 Krad;

- aucune destruction significative de l'acide ascorbique pour les dosages pratiqués immédiatement après l'irradiation;

- mais une destruction en fonction de la dose d'irradiation pour les dosages pratiqués après 7 jours.

4 - LES CAROTTES

Comme pour la pomme de terre, cette expérimentation a pour but de mettre en évidence l'augmentation de vitamine C démontrée par EGIAZAROV.

a) Protocole expérimental :

- Carottes, variété "Nantaise demi-longue", cultivées sur couche à l'Ecole Nationale d'Horticulture de VERSAILLES; équeutées et mises en échantillon de 350 g environ dans des emballages plastiques avec des trous d'aération.

Cette fois nous avons un seul lot divisé en quatre parties, l'une étant un témoin, les autres étant irradiées sous 10 Krad, 50 Krad, 100 Krad.

- L'irradiation est pratiquée environ 18 h. après la cueillette; en attendant le dosage, les échantillons sont entreposés à l'ombre et au frais (15 - 18° C).

Les dosages ont été effectués les jours suivants.

TENEUR EN ACIDE ASCORBIQUE POUR 100 g DE PRODUITS FRAIS

0 Krad	10 Krad	50 Krad	100 Krad
	4 mg		
4,6 mg	3 mg	2,5 mg	2,2 mg
4,9 mg		2,8 mg	2 mg
4,3 mg	3,2 mg	2,6 mg	
4,6		2,8 mg	
4,6			

b) Les résultats nous montrent :

- une destruction progressive sous l'effet de l'irradiation.

- sur le témoin, il ne semble pas qu'il y ait d'effet notable en fonction de la date du dosage.

Ces résultats sont semblables aux résultats donnés par les dosages pratiqués après 7 jours pour la pomme de terre.

C O N C L U S I O N S

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

On pourrait semble-t-il admettre que nos connaissances apparaissent suffisantes pour lever les hésitations des hygiénistes.

Toutefois, comme nous l'avons exposé, nombreux sont encore les médecins, les nutritionnistes et les hygiénistes qui, comme dans notre pays, hésitent à "donner le feu vert" à cette utilisation des rayonnements ionisants en technologie alimentaire.

Notre étude a donc pour but d'apporter quelques nouvelles expériences destinées à mieux assurer nos connaissances.

L'objet de notre travail était d'étudier l'effet de l'irradiation sur quatre vitamines du groupe B, les vitamines B1, B6 et PP et sur la vitamine C.

A) Les levures du fait de l'importance qu'elles ont et qu'elles pourraient avoir dans l'alimentation humaine comme fournisseur en protéines et en vitamines nous ont paru particulièrement intéressantes.

Notre expérimentation a montré :

1 - une radio-sensibilité des vitamines plus importante dans les suspensions que dans les produits secs ce qui confirme l'influence des produits de la radiolyse de l'eau.

2 - une destruction très nette de vitamine B1, celle moins importante de la vitamine PP, la radio-résistance de la vitamine B6 et de la vitamine B2.

B) Pour la crème de riz complémentée ou non de 2 mg de vitamine B1, B6 et PP, l'irradiation était effectuée à doses variées. Nos résultats montrent de nouveau une destruction de vitamine B1 (à partir de 0,5 Mrad) mais une radio-résistance pour les vitamines PP et B6.

C) Nous avons, d'autre part, cherché à mettre en évidence les résultats d'EGIAZAROV qui note une augmentation très nette de la vitamine C dans les pommes de terre et les carottes après une irradiation de 50.000 rads alors qu'à 25.000 rads et 100.000 rads la teneur vitaminique reste très proche de celle du témoin.

Nos résultats ne confirment pas la constatation de l'auteur soviétique; ils montrent, pour la carotte une destruction régulière de la vitamine C de 0 à 100.000 rads, et pour la pomme de terre aucune anomalie comparable à celle signalée par Egiazarov.

Travail effectué au Centre de Recherches Foch (Directeur H. GOUNELLE) grâce à une subvention de l'I.N.S.E.R.M. au titre des actions concertées.

VU, le Président,

M. le Professeur KELLERSHOHN

VU, le Doyen,

M. le Professeur BROUET

VU, le Recteur,

J. ROCHE

B I B L I O G R A P H I E

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

1) CHAIRE DE PHYSIQUE MEDICALE -
Faculté de Médecine de Paris
Radiations - Radiobiologie (1965)
Editions AGEMP, 40, rue Pascal PARIS.

2) TUBIANA M., DUTREIX J., DUTREIX A. et JOCKEY P. -
Bases Physiques de la Radiothérapie et de la Radiobiologie
Masson et Cie Editions (1963).

3) DE VISSCHER M. et BECKERS C. -
Les isotopes radioactifs en médecine.
Albert de Visscher - Editeur (1961).

4) CONSTANT R. -
"Il Farmaco" An. XIX Num. I (1964).

5) WAYNBAUM M. -
Irradiation des Aliments (Rapport).
Documentation C.E.A. - Saclay (1963).

6) CHECHAN C. et VAILLES C. -
"Algérie Médicale" - Nov. 1957 - Vol. 61 - N° 11,
pp. 1135-1154.

7) LECLERC A.M. -
Emploi des Radiations Ionisantes en Technologie
Alimentaire : teneurs en vitamines.
Les Journées Scientifiques du Centre National de
Coordination des Etudes et Recherches sur la Nutrition et
l'Alimentation (1962).

8) MINISTRY OF HEALTH

Committee on Medical and Nutritional Aspects of Food Policy.

Report of the working party on irradiation of food

LONDON (1964).

9) RAPPORT DE LA REUNION EUROPEENNE SUR LA MICROBIOLOGIE DES ALIMENTS IRRADIES

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Paris 20 - 23 Avril 1960.

10) DUPUY P. -

Micro-organismes résistants aux Rayonnements ionisants.

Rapport de la Réunion Européenne sur la Microbiologie des Aliments irradiés.

Paris 20 - 23 Avril 1960.

11) DAVYDOFF - ALIBERT S. -

Influence de la nature du milieu ambiant pendant l'irradiation sur la survie bactérienne.

Rapport de la Réunion Européenne sur la Microbiologie des Aliments Irradiés.

Paris 20 - 23 Avril 1960.

12) THORNBY M. -

Techniques associées à l'irradiation.

Rapport de la Réunion Européenne sur la Microbiologie des Aliments irradiés.

Paris 20 - 23 Avril 1960.

13) IRRADIATION DES ALIMENTS

Centre Europ. d'Inf. pour l'irrad. des aliments (OECE)

Saclay.

Vol. 2 N° 3 Janv. - Mars 1962 A2.

14) GAISCH H. et KAINDL -

Irradiation des Aliments.

Centre Europ. d'Inf. pour l'irrad. des aliments (OECE)

Saclay.

Vol. 2 N° 3 Janv. - Mars 1962 A8.

15) HANSEN E. -

Irradiation des Aliments.

Centre Europ. d'Inf. pour l'irrad. des aliments (OECE)

Saclay.

Vol. 4 N° 3 Janv. - Mars 1964 A10.

16) MATTHEE F.N. et MARAIS P.G. -

Irradiation des Aliments.

Centre Europ. d'Inf. pour l'irrad. des aliments (OECE)

Saclay.

Vol. 4 N° 1 - 2 Juillet - Déc. 1963 A11.

17) IRRADIATION DES ALIMENTS -

Centre Europ. d'Inf. pour l'irrad. des aliments (OECE)

Saclay.

Vol. 3 N° 4 Avril - Juin 1963 A2.

18) SCHUTZSACK U. -

Irradiation des Aliments.

Centre Europ. d'Inf. pour l'irrad. des aliments.

(OECE) Saclay.

Vol. 3 N° 4 Avril - Juin 1963 A23.

19) MAURANGES P. -

"La Semaine Médicale", 1964.

40, N° 14, pp. 271-276.

20) CAUSERET J. et MOCQUOT G. -

Thermo et Radiosensibilité des Vitamines

Récents Progrès en Vitaminologie XIII

Rennes 11 - 14 Mars 1964

Les Journées Scientifiques du Centre National de Coordination des Etudes et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation.

21) CONNOR JOHNSON B. -

In Report of the F.A.O. Meeting on the wholesomeness of irradiated foods.

Brussels 23 - 30 Oct. 1961.

The effect of radiation on Individual Food Components.

22) KRAYBILL H.R. -

The effect of ionizing radiation on vitamins and other physiologically active compounds.

In report of the F.A.O. meeting on the wholesomeness of irradiated foods p. 44.

Brussels 23 - 30 Oct. 1961.

23) EGIAZAROV G.M. -

Dokl. Akad. Nauk, S.S.S.R., 1959, 128, 1070.

24) SJOSTEDT M. and ERICSON L.E. -

Acta. Chemi. Scand., 1962, 16, 1989 - 98.

25) RICHARDSON L.R., MARTIN J.L. and HART S. -

J. Nut., 1958, 65, 409 - 418.

26) GRONINGER H .S. and TAPPEL A.L. -

Food Res., 1957, 22, 519-523.

27) GOLDBLITH S.A. and PROCTOR B.E. -

Nucleonics, 1949, 5 (2), 50 - 58.

28) PROCTOR B.E. and GOLDBLITH S.A. -

Nucleonics, 1948, 3 (2), 32 - 43.

29) EGIAZAROV G.M. -

Vop. Pitan., 1960, 19, N° 4, 54 - 58.

30) ZIPORIN Z.Z., KRAYBILL H.F. and THACH H.J. -

J. Nutr , 1957, 63, 201 - 209.

31) DAY E.J., SAUBERLICH H.E., ALEXANDER H.D. and SALMON W.D. -

J. Nutr., 1957, 62, 107 - 118.

32) DAY E.J., ALEXANDER H.D., SAUBERLICH H.E. and SALMON W.D. -

J. Nutr., 1957, 62, 27 - 38.

33) KUNG H.C., GADEN E.L. and KING C.G. -

J. Agric. Fd Chem., 1953, 1, 142 - 164.

34) FAUCHET M. -

Contribution à l'étude des effets des radiations ionisantes sur la vitamine K.

Thèse pour Doctorat en Médecine (1966).

35) CALLOWAY D.H. and THOMAS M.H. -
Project 7X86 - 01 - 002 (1961).
Feeding Studies.
Quartermaster Food and Container Institute for the Armed Forces. Chicago.

36) HOLSTEN R.D., SUGII M. and STEWARD F.C. -
Nature, 1965, 208, 850.

37) GOLDBLITH S.A. -
Nature, 1966, 210, 434.

38) DUPUY P. et MOCQUOT G. -
International Journal of Applied Radiation and Isotopes 1964 Vol. 15 pp. 255 - 262.

39) LABORIT H. -
La Presse Médicale 1964, 72 N° 8, 441_443.

40) ANDERSEN K.P. -
Risö Report. July 1960, N° 16, p. 61.

41) HICKMAN J.R. -
Food Irradiation.
Proceedings of a Symposium, Karlsruhe, 6-10 June 1966 p. 101.

42) RAICA M. Jr. and HOWIE D.L. -
Food Irradiation.
Proceedings of a Symposium, Karlsruhe, 6-10 June 1966 p. 119.

43) WHITEHAIR L.A. -
Food Irradiation.
Proceedings of a Symposium, Karlsruhe, 6-10 June 1966,p.137.

44) GOLDBLITH S.A. -

Food Engeneering, 35, N° 5, 49, (1963).

45) SARRAZIN P.L., VIDAL P. -

Ann. Nutrit. Aliment., 17, B 463,(1963).

46) MAURANGES P. -

Semaine Médicale N° 28, 894 (1961).

47) KNAPP F.W., TAPPEL A.L. -

J. Agric. Food Cheme, 9, 430 (1961).

48) PROCTOR B.E. and GOLDBLITH S.A. -

In HARRIS A.S. and LOESECKE H. Von (75), 133.

49) GOLDBLITH S.A. -

J. Amer. Diet. AS, (1965), 31, 243-249.

50) READ M.S. -

J. Agric. Fd Chem. (1960) 8, 342-349.

51) METTA V.C., MAMEESH M.S. and JOHNSON B.C. -

J. Nutr., 69, 18_22 (1959).

52) LUNDBERG. W.O and CHIPAULT J.R. -

Report 3, Chicago, Quartermaster Food and Container

Institute for the Armed Forces 8 pp.

53) MAC KINNEY Board LUKTON A. -

Report 2, Chicago, Quartermaster Food and Container

Institute for the Armed Forces 13 pp.

54) WILSON G.M. -

J. Sci Fd Agric. 10, 295-300.

55) PROCTOR B.E. and O'MEARA J.P. -

Industr. Engne Chem. 43, 718-721.

56) PROCTOR B.E. and GOLDBLITH S.A. -
Nucleonics (1949) 5 (3) 56-62.

57) KERTESZ Z.I., CLEGG R.E.,BOYLE F.P., SCHULZ E.R., DAVIDSON M., FOX G., LIND L., CONNOR M. and EUCHRE M. -
Final Report (1956) Chicago, Quartermaster Food and Container Institute for the Armed Forces, 6 pp.

58) KENNEDY T.S. -
J. Sci. Fd Agric. (1965), 16, 81.

59) MARKAKIS P.C., GOLDBLITH S.A. and PROCTOR B.E. -
Nucleonics (1951) 9 (6), 71, 82.

60) RICHARDSON L.R., WOODWORTH P. and COLEMAN S. -
Fed. Proc. (1956), 15, 924-926.

61) GOUNELLE H. et COFMAN S. -
Ann. de la Nutri. et de l'aliment. 1956.
Vol. X N° 5 et 6.

62) SNELL E.E., WRIGHT L.D. -
Biochem. J., 1944, 38, 314.

63) ATKIN, SCHULTZ A.S., WILLIAMS W.L., FREY C.N. -
Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 1943, 15, 141.

64) DEIBEL D.H., EVANS J.B., NIVEN C.F. -
J. Bacteriol. 1957, 74, 810.

65) SNELL E.E. et STRONG F.M. -
Ind. Eng. Chem. 1939, 11, 346.

66) ROE J.H . et OESTERLING M.J. -
J. Biol. Chem. 1944, 152, 511.

67) MATHIEU C., MALBEC M., REGIS H., COMMANAY L. -
Rev. Med. Toulouse, 1965, 1, pp. 703-708.

68) CAUSERET J. -

Effets du traitement de la farine de Blé par les rayonnements ionisants sur sa teneur en thiamine.

Rapport rédigé pour la réunion du 6 Juin 1966 de la commission de VITAMINOLOGIE du Centre National de Coordination des Etudes et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation.

69) VIDAL P. -

"Où en est le problème de la radio-exposition ?"

Revue de la Conserve Oct. Nov. 1964.

70) GIRARD et RAMEL -

Revue du Corps de Santé des Armées (1960) 7, 369.

71) Mc CAY C.M. and RUMSEY G.L. -

Fed Proc. (1960), 19, 1027.

72) TYXMEEPEP T. -

Problème de la radio activité induite dans les denrées alimentaires.

Food Irradiation.

Proceedings of a Symposium, Karlsruhe, 6-10 June 1966, p. 243.

-:-:-:-:-